Lineare gemischte Modelle in der psycholinguistischen Forschung

Zwei Beispiele:

1. Masked-repetition priming
   (Priming- und RT-Frequenz-Effekte mit Reaktionszeiten)
   - Transformationen
   - Varianz der Personen und Items als zufällige Faktoren
   - Varianzen und Kovarianzen der Effekte (nur für Personen)
2. Lesestrategien und Modulation der Wahrnehmungsspanne beim Lesen (Blickbewegungsdaten)
   - Bestimmung der Frequenzeffekte *(slopes, correlations between slopes*) von drei benachbarten Wörtern auf Fixationsdauern
   - Modellierung dieser Korrelationen durch dynamische Modulation der Wahrnehmungsspanne im SWIFT-Modell

Feste und zufällige Effekte

- **Fester Effekt** τ ist eine Konstante, die wir aus den Daten schätzen
- **Zufälliger Effekt** ν is eine zufällige Variable

  Es ist nicht besonders sinnvoll, einen zufälligen Effekt zu schätzen; wir schätzen statt dessen den Para–meter, der die Verteilung des zufälligen Effekts beschreibt.

  $y_{ijk} = \mu + \tau_i + \nu_j + \varepsilon_{ijk}$; $N(0, \sigma^2)$; $N(0, \sigma_\nu^2)$

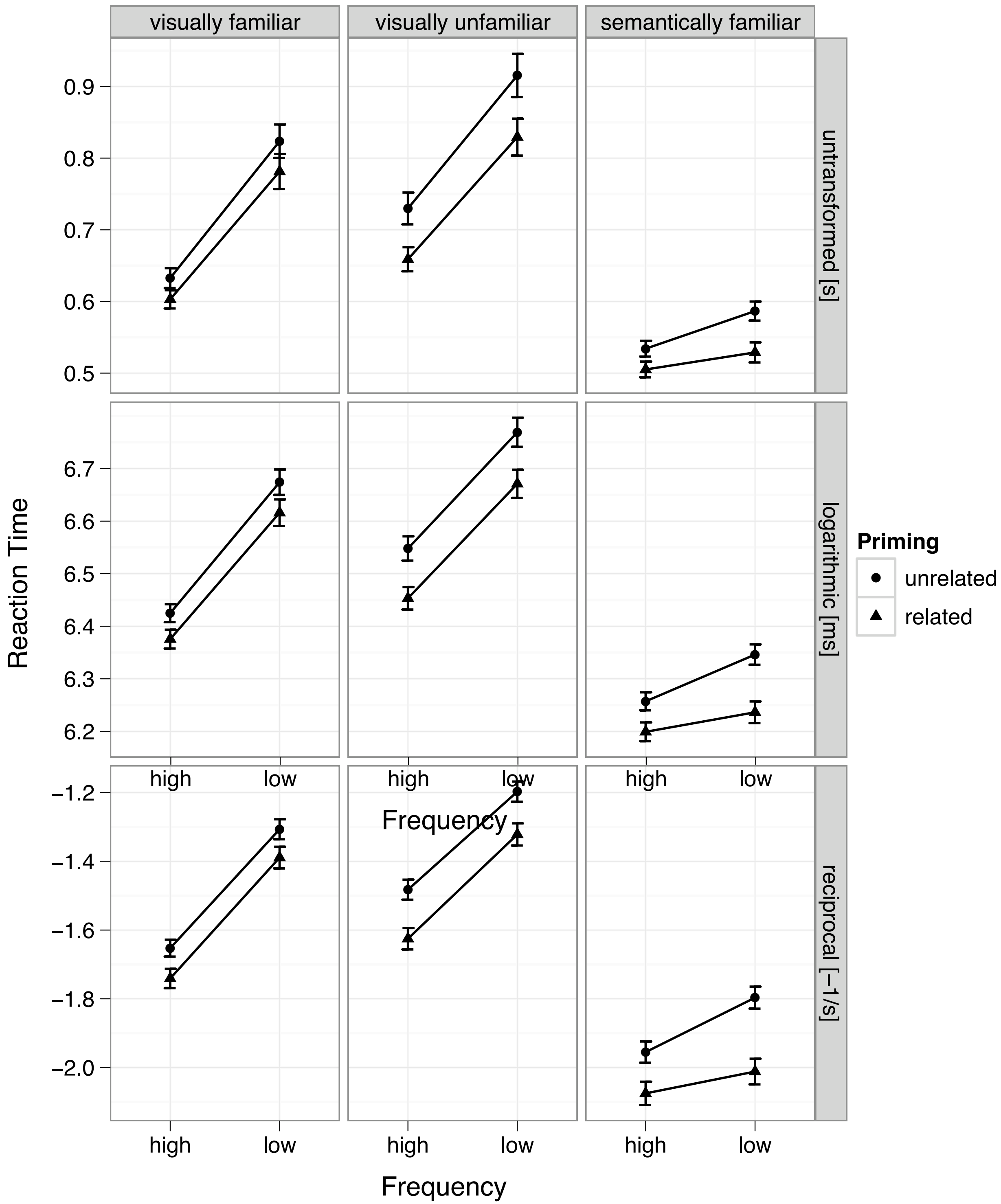
  Schätze τ_i und prüfe H_0: $\tau_i = 0$, für alle i

  Schätze ν_j und prüfe H_0: $\sigma_\nu^2 = 0$, für einen einzigen Parameter

Masked Repetition Priming
(Bodner & Masson, 1997; Kinoshita, 2006)

- Task: Lexical decision (word or nonword?)
- Dependent Variable: RT or log(RT) or -1/RT?
- Fixed effects
  - Frequency (high/low)
  - Priming (related/unrelated)
  - Experiment: 1 + 2 (B&M 1997), 3 (K 2006)
    (visually familiar/visually unfamiliar/semantically familiar)
- Random effects
  - Due to differences between subjects (3 x 24 S)
  - Due to differences between words (2 x 96 W + 1 x 96 W)

Figure 1
(KMR, 2009)



Probleme mit ANOVA-Schätzer

- Erste Schätzer von Varianzkomponenten;
  they are elegant, but from *precomputing* days

- Die Schätzen können negative Werte annehmen
  (z.B. wenn MSA < MSE, $\sigma_\alpha{}^2 < 0$)

- Keine gute Lösung für nicht-ausbalanzierte Designs

- Komplexe Modelle erfordern schwierige und
  undurchsichtige Konstruktionen

Faraway, 2006, p. 155

Subjects ANOVA + Words ANOVA

- What about random effects parameter?
  - $y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$; $N(0, \sigma^2)$; $N(0, \sigma_\alpha^2)$
  - *Note*: Intraclass correlation coefficient: $\rho = \sigma_\alpha^2 / (\sigma_\alpha^2 + \sigma^2)$
  - SST = SSE + SSA; MSE = SSE/(n-1), MSA=SSA/(a-1)
    $E(SSE) = a(n-1)\,\sigma^2$
    $E(SSA) = (a-1)(n\,\sigma_\alpha^2 + \sigma^2)$
  - ANOVA estimators of variance components
    $\sigma^2 = SSE/(a(n-1)) = MSE$
    $\sigma_\alpha^2 = (SSA/(a-1) - \sigma^2)/n = (MSA-MSE)/n$

Designprobleme

- Between und within effects
  - Relative to subjects:
    - Frequency -> Within
    - Priming -> Within
    - Experiment -> Between
  - Relative to words
    - Frequency -> Between
    - Priming -> Within
    - Experiment -> 1 vs 2: Within; (1+2) vs 3: Between
- Ausschluss falscher Antworten zerstört Design
- Normalverteilung für RT-Residuen?

LMM with *R*: The **Full** Version

- Beispiel

  $y_{ijk} = \mu + e*f*p + \alpha_i + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$; $N(0, \sigma^2)$; $N(0, \sigma_\alpha^2)$; $N(0, \sigma_\beta^2)$

- Masked Repetition Priming
  mit zwei gekreuzten zufällige Faktoren

  Subjects α_i, j=1 … 72; max 96 RTs per subjects,

  Words $\beta_{k,}$ k=1 … 192; max 48 (Exp. 1, 2) or 24 (Exp. 3) RTs per word

- m0 <- lmer(rrt ~ e*f*p + (1+p+f | subjects) + (1+p+e | words))

- Parameter für feste Effekte: 11 (+ intercept)

- Parameter für Varianzkomponenten
  - 3 Varianzen / SDs und 3 Kovarianzen / Korrelationen für Personen
  - 3 Varianzen / SDs und 3 Kovarianzen / Korrelationen für Wörter

LMM with *R*: The **Reduced** Version

- Example

  $y_{ijk} = \mu + e*f*p + \alpha_i + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$; $N(0, \sigma^2)$; $N(0, \sigma_\alpha^2)$; $N(0, \sigma_\beta^2)$

- Masked Repetition Priming
  mit zwei gekreuzten zufällige Faktoren

  Subjects α_i, j=1 … 72; max 96 RTs per subjects,

  Words $\beta_{k,}$ k=1 … 192; max 48 (Exp. 1, 2) or 24 (Exp. 3) RTs per word

- m0 <- lmer(rrt ~ e*f*p + (1+p+f | subjects) + (1 | words))
- Parameter für feste Effekte: 11 (+ intercept)
- Parameter für Varianzkomponenten
  - 3 Varianzen / SDs und 3 Kovarianzen / Korrelationen für Personen
  - 1 Varianz für Wörter

Table 1 (KMR 2009)

TABLE 1
LMM estimates of fixed effects for untransformed RT, log RT, and reciprocal RT

	Untransformed RT			*Logarithmic RT*			*Reciprocal RT (−1/RT)*		
	Estimate	*SE*	*t*	*Estimate*	*SE*	*t*	*Estimate*	*SE*	*t*
(Intercept)	0.682	0.012	58.6	6.469	0.015	427.1	−1.624	0.023	−70.9
P	0.053	0.005	10.5	0.078	0.006	12.6	0.129	0.010	13.0
f	0.141	0.012	11.7	0.184	0.014	13.0	0.262	0.020	12.9
e.BM1-2	0.038	0.013	2.9	0.045	0.017	2.6	0.059	0.026	2.3
e.BM-SK	−0.071	0.008	−8.7	−0.103	0.011	−9.8	−0.166	0.016	−10.4
p:f	0.020	0.010	2.1	0.022	0.011	2.1	0.024	0.015	1.6
p:e.BM1-2	0.021	0.006	3.3	0.020	0.008	2.7	0.023	0.012	1.9
p:e.BM-SK	−0.005	0.004	−1.5	0.002	0.004	0.5	0.018	0.007	2.7
f:e.BM1-2	−0.002	0.009	−0.2	−0.011	0.010	−1.1	−0.024	0.014	−1.8
f:e.BM-SK	−0.051	0.008	−6.4	−0.060	0.009	−6.4	−0.074	0.013	−5.6
p:f:e.BM1-2	−0.001	0.012	−0.1	−0.006	0.013	−0.5	−0.012	0.019	−0.6
p:f:e.BM-SK	0.004	0.007	0.6	0.015	0.007	2.0	0.035	0.011	3.3

p: Priming, f: Frequency, e.BM1-2: Visual familiarity, e.BM-SK: Semantic familiarity; ":" is a crossing operator.

Table 2 (KMR 2009)

TABLE 2
LMM estimates of variance/covariance component parameters for untransformed RT, log RT, and reciprocal RT

	Measure								
	Untransformed RT			*Logarithmic RT*			*Reciprocal RT(-1/RT)*		
Effect	*SD*	*mean*	*priming*	*SD*	*mean*	*priming*	*SD*	*mean*	*priming*
Words									
mean	0.061			0.076			0.111		
Subjects									
mean	0.088			0.117			0.178		
priming	0.014	+0.392		0.027	-0.153		0.055	-0.482	
frequency	0.051	+0.557	+0.542	0.053	+0.137	+0.321	0.071	-0.342	+0.359
Residual	0.190			0.210			0.299		

Note. SD = square root of *lmer* variance estimate; remaining entries are estimates of correlations between effects.

Figure 2 (KMR 2009)

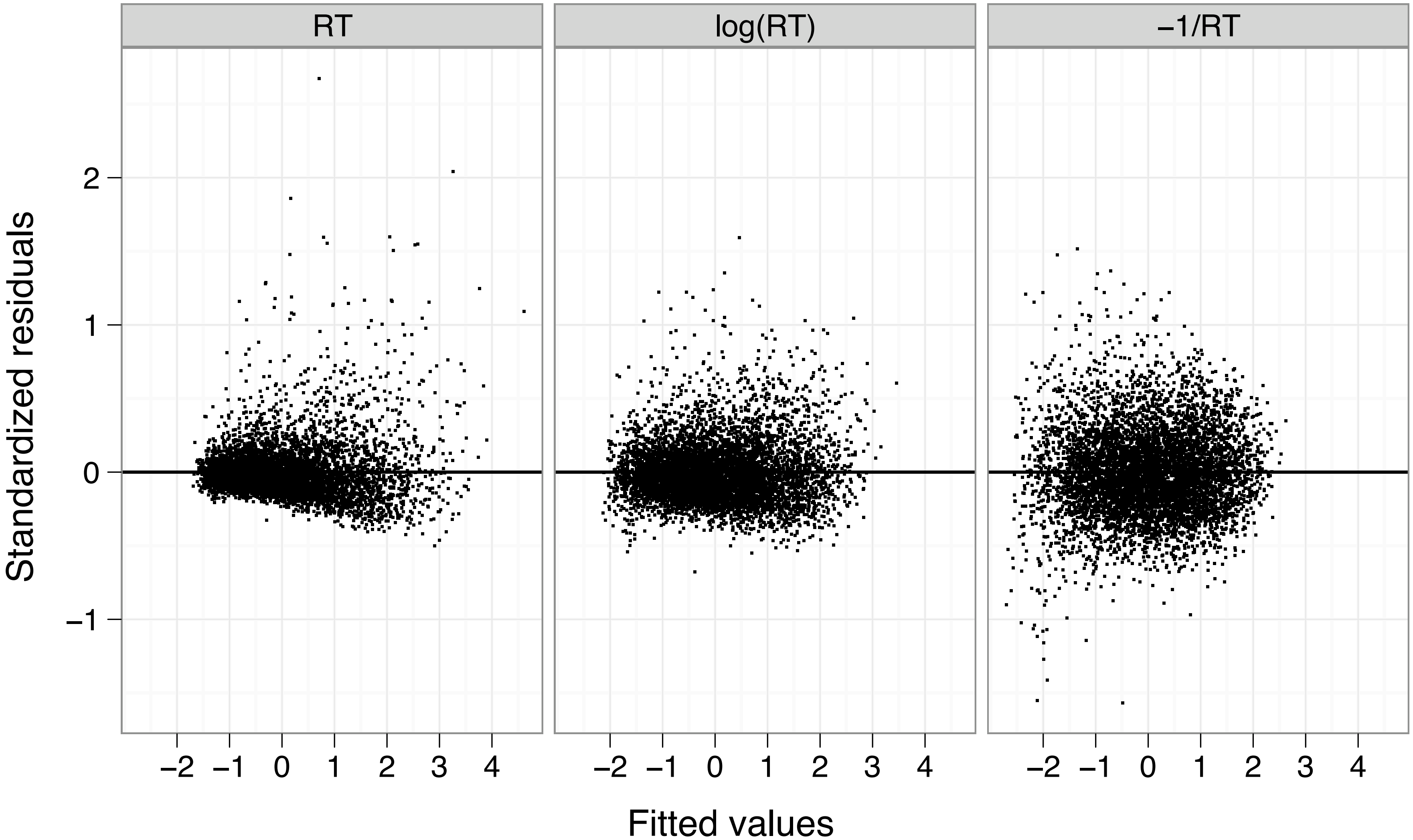


Figure 3 (KMR 2009)

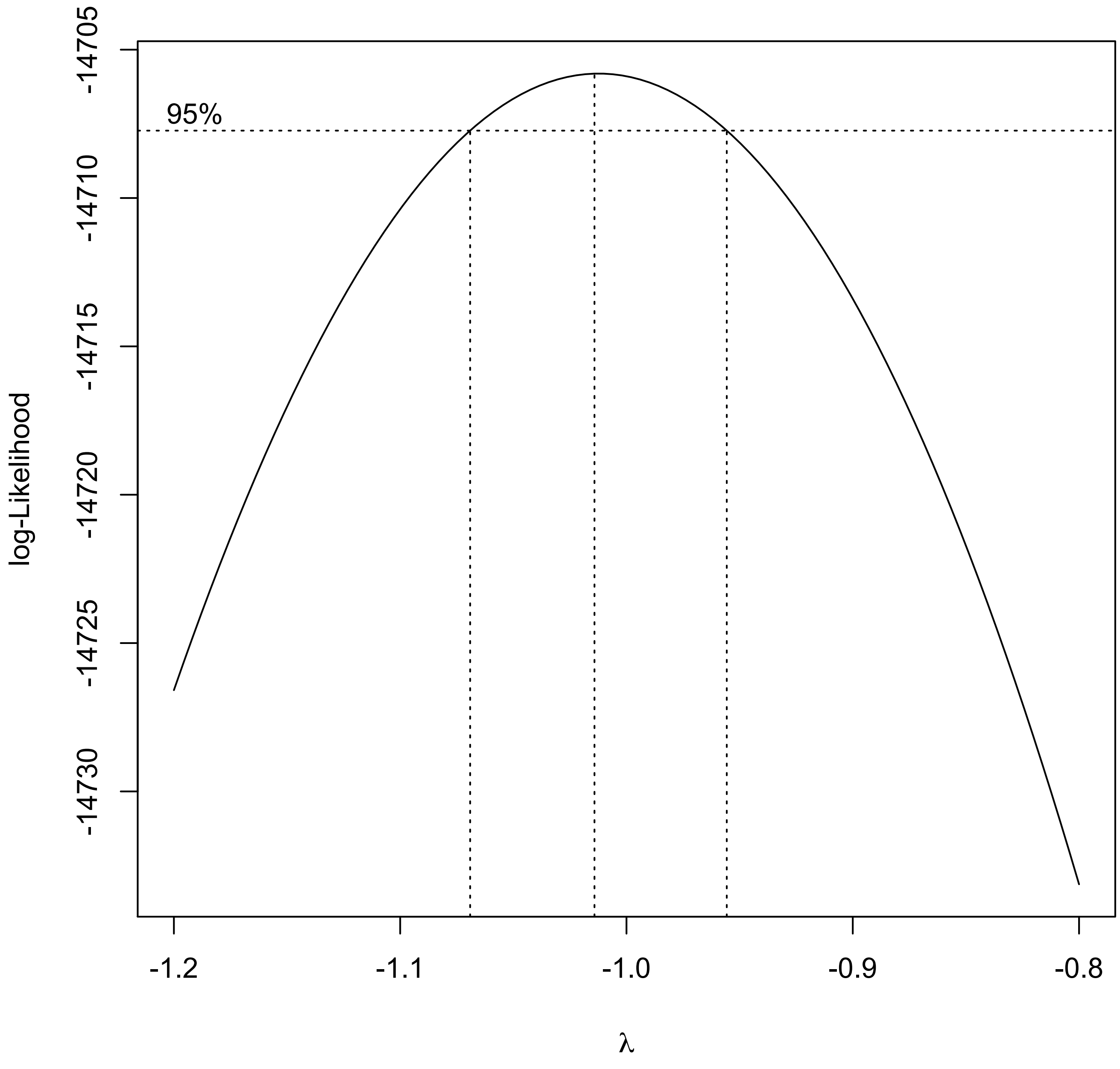


Figure 4
(KMR 2009)

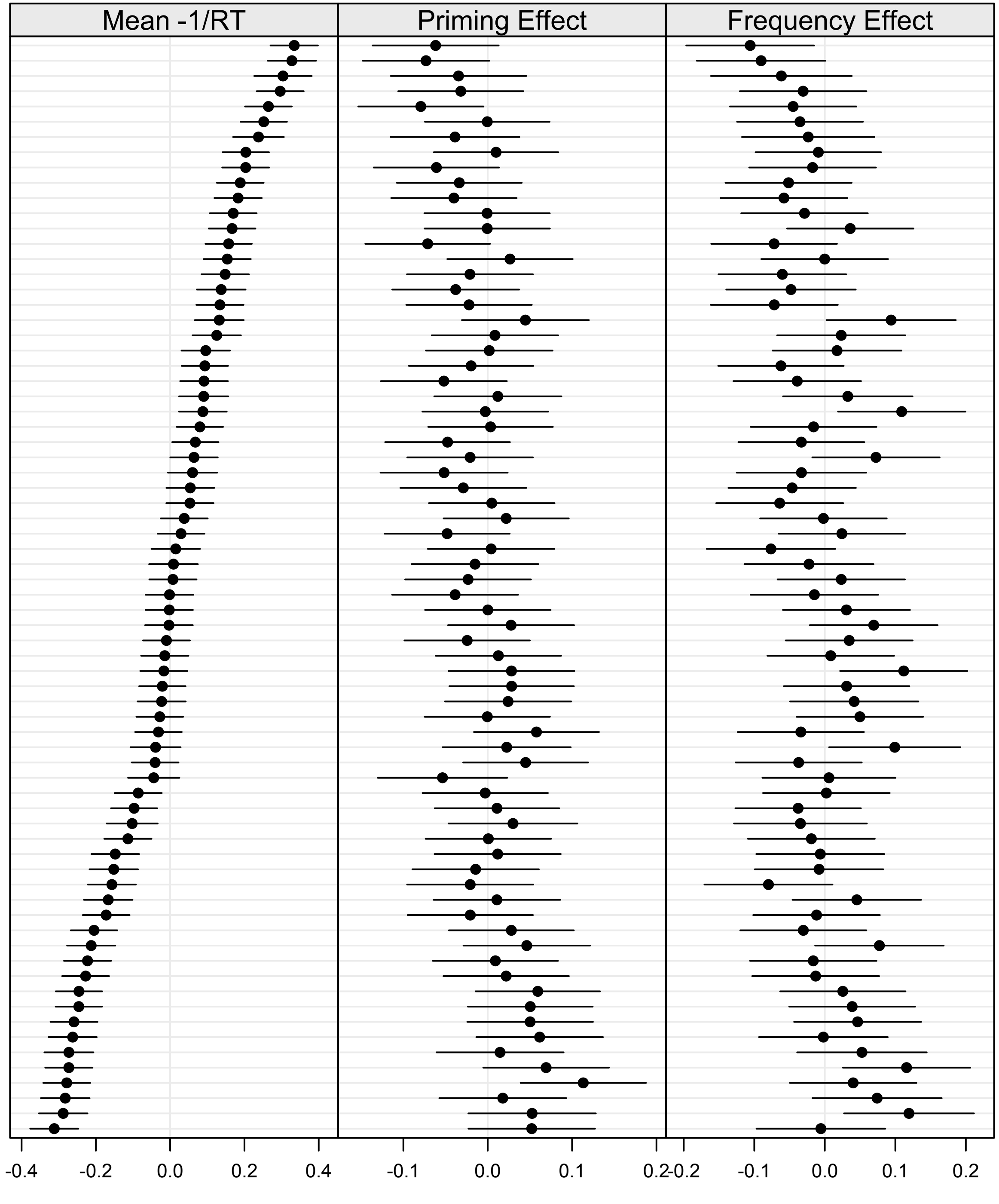
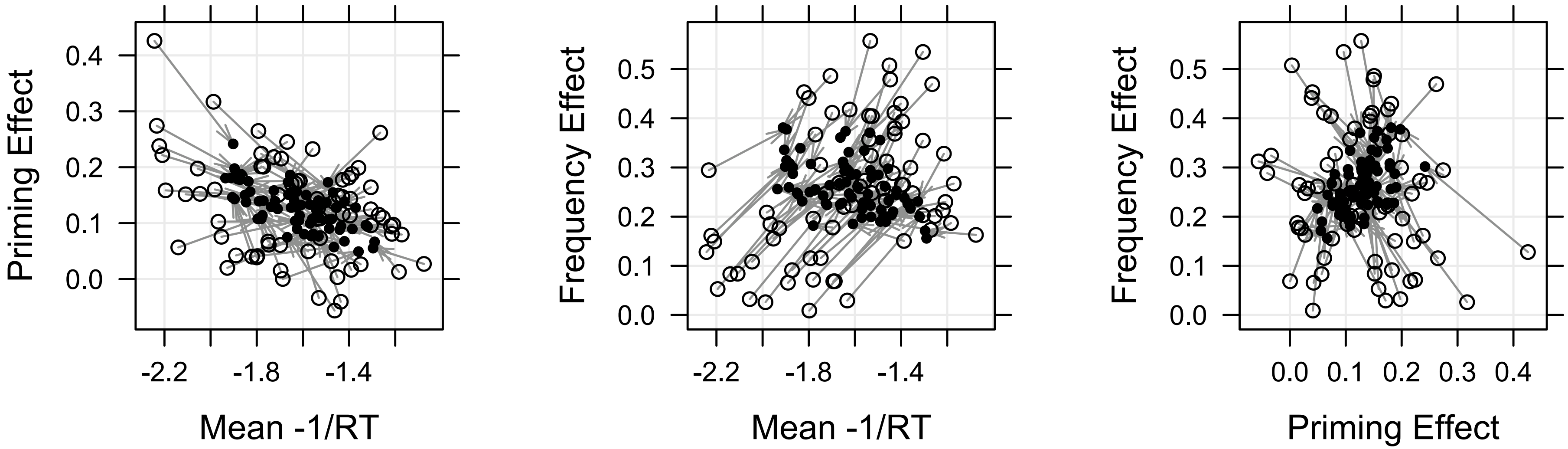


Table 3 (Within-Subject) Correlations (KMR 2009)

	SD	*mean*	
	priming		
mean	0.297		
priming	0.089	-0.365	
frequency	0.138	+0.439	-0.177

Corresponding LMM estimates (from Table 2)	-.482	
	-.342	+.359

Figure 5 (KMR 2009)



Zusammenfassung

- Linear Mixed Models
  - Handle realistic data sets:
    - Unbalanced
    - (Partially) crossed, hierarchical, …
    - Nominal, ordinal, and numerical predictors
  - Hold much potential for analyses of individual differences
    - Estimate variance/covariance components of random effects
    - Generate predictions for individual random effects (corrected for unreliability)
    - More realistic and reliable inference about effect correlations (may be very different from within-subject effect correlations!)
  - But: Inferences for variance/covariance components depend strongly on transformation (statistical model)
- Generalized Linear Mixed Models
  - Practically simple extension of LMM (…, family=binomial)
  - More flexibility for distributions (gamma)
  - Maintain original metric
  - Computationally much more complex (PIRLS)

Thank you

Douglas Bates, *lme4*-package in the R environment, R-SIG-ME

Mike Masson, Eike Richter, …